

## ゴム磁石ベルト式磁選機に関する基礎的研究

著者	小林 敏夫
号	22
発行年	1966
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/10971">http://hdl.handle.net/10097/10971</a>

氏名（本籍）	小林 敏 夫（群馬県）
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 第 22 号
学位授与年月日	昭和41年7月6日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
最終学歴	昭和17年9月 日本大学専門部工科機械科卒業
学位論文題目	ゴム磁石ベルト式磁選機に関する研究
論文審査委員	（主査） 教授 和田 正美 教授 吉 沢 幸 雄 教授 金子 秀夫 教授 下飯坂 潤 三

## 論 文 内 容 要 旨

本論文は磁選理論に基づき、著者が年来の研究結果から帰納した磁選機の機能として具備すべき基礎的条件を満足すべきゴム磁石を単位磁極とする磁選機的设计ならびにその操作に関する基礎的研究結果をまとめたもので6章からなる。

### 第 1 章 緒 論

磁選理論によれば磁界中に存在する強磁性粒子に作用する力は  $(B_x)_{H, T} - 2\mu_0 H_x (dH_x/dx)$  と  $H_x (dB_x/dx)_{H, T}$  の値によつて定まる。

ここに  $B_x = x$  方向の磁束密度

$\mu_0$  =媒質の透磁率

$H_x$  = X 方向の磁界強度

$\frac{dH_x}{dx}$  = X 方向の磁界強度の勾配

$\frac{dB_x}{dx}$  = X 方向の磁束密度 "

また強磁性粒子の線条形成の原因となる力は強磁性粒子を通る磁束の 2 乗と共に増大する。

それ故、強磁性粒子の選別効果を高めるためには強磁性粒子に作用する  $(B_x) H$ ,  $T$  と  $H_x$  の値をなるべく低く、 $dH_x/dx$  の値をなるべく高くすることが望ましい。

さらに粒子に働く非磁性的な力も考慮に入れなければならない。

すなわち、重力、摩擦力、静電力、流体抵抗、表面張力などを挙げることができる。

このような観点から著者は磁選機の機能として

- (1) 比重・磁力選鉱併用方式により磁界を有効に利用すること。
- (2) 磁極面上磁着搬送ならびに磁着搬送量可変の方式とすること。
- (3) 磁界強度および有効磁界範囲を制限できる方式とすること。
- (4) 湿式選鉱条件調整可能の方式とすること。
- (5) 非・弱磁性粒子の拘込みを除去する機構を備える方式とすること。

などの諸条件が満足されなければならないことを指摘している。

## 第 2 章 ゴム磁石ベルトの製造と物性

ゴム磁石ベルトを構成する単位ゴム磁石は磁選機がその機能を発揮するために十分な磁気特性を持ち、連続的使用に耐えるすぐれた耐久力を保有するものでなければならない。

著者はゴム磁石に含まれる Ba-フェライト粉末の結晶の異方性に基づくゴム磁石の異方体化を利用することによつてフェライト粉末の含有量を減じ、所要の磁気特性を持ち、かつ可撓性ならびに耐久性の大きいゴム磁石ベルトを製造することを可能にし、磁選機の性能の向上ならびにその小型化に役立たしめた。

ゴム磁石は微細なフェライト粉末の集合体からなり、フェライト粉末は化学的に安定であり加硫の際ゴムと反応することなく、ゴム磁石の磁気特性は粉末粒子の充填度と配列状態により理論的に求められ、粒子の配向に基づく異方体化により等方性理論値以上の磁性が得られることを明らかにした。

圧縮異方体化の現象は Gordon により焼結フェライト磁石について発表されているが、ゴム磁石では製造工程の僅かな圧力によつても異方体化が起こり、その異方性係数は  $\text{BaO}-\text{Fe}_2\text{O}_3$ — $\text{NaF}$  系のフェライト粉末ゴム磁石では焼結フェライト磁石の 1.3~1.5 程度の値であるのに対して、2.0~2.5 に上る。

$\text{NaF}$  系のフェライト粉末のゴム磁石は、 $\text{BaO}-\text{Fe}_2\text{O}_3$ — $\text{Bi}_2\text{O}_3$  系および  $\text{BaO}-\text{Fe}_2\text{O}_3$ — $\text{WO}_3$  系のフェライト粉末ゴム磁石に比較してすぐれた磁気特性を持ち、磁氣的異方性も大である。

$\text{NaF}$  系のフェライト粉末では低温焼成で、個々の粒子は完全に反応し、塊状にならない利点を有し、細分化が容易であり他のフェライト粉末に比較して単磁区粒子を多量に含むため、 $\text{NaF}$  系のフェライト粉末ゴム磁石は磁気特性がすぐれている。

ゴム磁石の見掛密度は、フェライト粉末がゴムに混合される際空気を巻き込み空孔が出来るため、理論値よりかなり低い。

ゴム磁石の圧縮異方体化はゴム磁石の製造工程における素練りの原板のロール圧方向と加硫の際のプレス方向とが一致した場合に最も顕著であり、ゴム磁石の磁性がすぐれていることが明らかにされた。

これはフェライト粒子が扁平な六角板状結晶であり、容易にその C 軸方向を揃えて配向するためであると考えられる。

加硫の際の成型圧力は  $200 \sim 500 \text{ kg/cm}^2$  の範囲では磁性に対して影響がなく、圧縮力として充分である。

磁界中加硫の異方性効果はフェライト粉末の配合比が増加するにつれて減少し、ゴム磁石の見掛密度が  $3.5 \text{ g/cm}^3$  以上では圧縮異方性効果の方が大である。

合成ゴムにより製造されたゴム磁石の磁気特性はクロロブレン系ゴムが最も良く、次いでニトリル系、ブチル系および天然ゴムの順序である。

ゴム磁石の温度特性は媒質ゴムおよび含有焼結フェライト粉末の特性に近似している。すなわち天然ゴムの基準配合 1 部に対して  $\text{NaF}$  系フェライト粉末 3 部（重量）を配合した天然ゴム磁石の耐寒性は  $-53^\circ\text{C}$  で、 $\text{NaF}$  フェライト粉末 6 部（重量）を配合したゴム磁石の  $-20^\circ\text{C}$  から  $100^\circ\text{C}$  の温度範囲における残留磁気の減磁は可逆的で  $1^\circ\text{C}$  の昇温に対し  $-0.204\%$  の減磁率である。

ゴム磁石の機械的性質についてはフェライト粉末が増大するほど引張り強さをらびに伸びは漸減し、硬度は逆に大となる。

### 第 3 章 ゴム磁石ベルトの選鉱特性

ゴム磁石ベルト面上の磁界の強さ、パルプおよびベルトの相対速度、およびベルトの移動方向などはゴム磁石ベルトの選鉱特性を決定する要素である。

ゴム磁石に磁着された強磁性粒子に及ぼすベルト面上の流速の影響を明らかにするため著者は磁鉄鉱粒子に作用する磁力を求め、これを離脱する限界流速を測定した。限界流速は同一磁界強度では粒度が粗いほど高く、同一粒度では磁界強度が大きいほど高い。

ゴム磁石ベルト面上の流速はベルトの回転方向、傾斜および速度に左右されるが著者は水流に浮きを流すことによつて平均流速を求め、流速が磁選における重要な因子であることを指摘した。

磁選機用ゴム磁石は断面が幅 8 mm、厚さ 5 mm で、磁着面に両極が励磁されたものが適している。

磁着量は磁界強度が高いほど多く、粒度が細かいほど増加する。したがつて磁選機の処理量は磁界強度を高くすれば増加するが、磁界強度は用途に応じて選定する必要があり、これが不必要に高い場合は非磁性粒子を巻き込む原因となる。

磁鉄鉱に対しては磁界強度が 2500 G 以下では非磁性分の巻き込みはなく、5000 G 以上では非磁性分の巻き込みは磁界強度が高くなるほど増大し、粒度が細かい場合はこれが顕著であることを確認した。すなわち磁鉄鉱に対するゴム磁石の磁界強度は 2500 G ないし若干高い値とすべきで、磁選機の機能として具備すべき条件の一つである磁選目的に適した磁界強度、および有効磁界範囲の狭いことの必要性を実証した。

以上の実験結果に基づき  $\text{BaCO}_3$  17%、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  81.5% および  $\text{NaF}$  1.5% を配合し、 $960^\circ\text{C}$  で 30 min 間焼成した  $\text{BaO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{NaF}$  系のフェライト粉末を使用し、これを平均粒径  $0.8\mu$  に粉砕したフェライト粉末をクロロブレン系合成ゴムの基準配合 1 部に対してフェライト粉末を 6 部（重量）を配合し、素練り時のロール圧力方向と加硫時の成型圧力方向とを一致させて作成したゴム磁石を磁選機用とした。

その磁気特性は残留磁気 1,680 gauss、保磁力 1,180 G に上り、平行励磁方式による励磁後の表面の磁束密度の分布は 255～310 gauss である。このゴム磁石を 8 mm 間隔に配列し、ベルト面が平滑なベルト幅 150 mm および 1,500 mm のゴム磁石ベルトを作成した。

ゴム磁石に磁着した強磁性粒子は外部磁界の作用により倒立反転せしめ得ることを見出し、この現象に水圧噴射を併用し洗浄効果を高め巻き込まれた非磁性分を除去するため磁気洗浄装置を設計し、これを精鉱捕収部に装備し、高品位の精鉱を採取し、給鉱条件の変動に対しては尾鉱排

出部に磁気捕収装置を装備し安定した選鉱成績を維持することを可能にした。またゴム磁石ベルトに磁着した強磁性粒子を磁氣的に離脱回収するにはゴム磁石の磁界強度の2.5倍以上の離脱磁界を必要とすることを明らかにし、ドラム型の磁気離脱装置を設計し、これを精鉱排出部に装備した。

上記の設計方針により製作されたゴム磁石ベルト式磁選機による選鉱条件を把握するため、粒度別磁鉄鉱試料を用い、粗選および精選実験を行なった。

給鉱量については限界給鉱量以上では精鉱品位および実収率のいずれも低下し、かつこれらの低下が同時に起こることが認められた。この現象はゴム磁石ベルトの磁着搬送量の限界に基因するものと考えられる。

給鉱濃度については濃度が低くなるほど精鉱品位は向上するが、実収率は限界給鉱濃度以下では急激に低下する。

これはベルト面上の水深の増加による強磁性粒子の沈降距離の増大と、磁選の有効磁界範囲を越えることによるものであると考えられる。

ベルト傾斜およびベルト速度の選鉱条件に及ぼす影響はベルト面上平均流速に一義的に依存し、ベルト面上平均流速が高速度になるほど精鉱品位は向上し、実収率は低下する傾向を示すが、流速と選鉱性との間には2つの急変現象があることが見出され、これをそれぞれ一次および二次の急変現象と名付けた。

一次急変現象は流体中の強磁性粒子の自由沈降および磁力による吸引作用とベルト平行方向の流速との平衡関係に基因して生ずるもので、精鉱品位はこの急変点以下の流速で、実収率は逆にこの急変点以上の流速で急激な低下を示す。

二次急変現象は一次急変点以上の高い流速のときに生ずるもので、これはゴム磁石に磁着した強磁性粒子が流体の動圧によつて剝離されるため、実収率の急激な低下を来す現象であり、著者の提示した磁選機の機能として具備すべき条件として挙げられた比重・磁力選鉱併用および湿式選鉱条件調整可能の方式の妥当なるゆえんを明らかにし、従来ほとんど顧みられなかつた磁選における磁性的および非磁性的力の相互作用の調和をはかる必要があることを指摘した。

#### 第 4 章 ゴム磁石ベルト式磁選機の性能

前章に記述したゴム磁石ベルトの基礎的研究の成果に基づいて設計されたベルト幅150mmおよび1,500mmの磁選機の選別性能を明らかにするため、試料として久根鉱山および秩父鉱山産の浮選尾鉱、有明海産の海底砂鉄、飯岡産の沖積砂鉄、野牛産の段丘砂鉄、Erie産のタコ

ナイト鉱などの特性の異なる各種の磁鉄鉱を選定し、実験を行なった。

これらの試料に対する選鉱特性は前章に述べた磁鉄鉱に対する結果と同一の傾向を示す。例えばベルト幅 1,500 mm の磁選機については給鉱磁着品位 15 % の有明産海底砂鉄粗選の限界給鉱量は 50 ~ 60 t/h であり、最適給鉱濃度は 70 % 通過粒度 147  $\mu$  の久根鉱山産浮選尾鉱では 35 %、75 % 通過粒度 298  $\mu$  の飯岡産沖積砂鉄では 20 % で、一般に粒度の細かい強磁性粒子では沈降速度および磁界作用のため高濃度域に最適給鉱濃度が存在する。

ベルト速度は粗選には 80 ~ 100 m/min, 精選には 40 ~ 60 m/min が適する。

選鉱性の一次急変点の流速は試料により多少の相異があるが、粗選では 2.0 ~ 3.0 m/sec, 精選では 2.2 ~ 2.7 m/sec である。

選鉱成績は実験範囲内では粗選最適条件で、精鉱 T. Fe 品位最低 27.5 %、最高 61.9 %、mag. Fe 実収率最低 93.1 %、最高 99.80 % で、精選最適条件で、精鉱 T. Fe 品位、最低 50.9 %、最高 67.0 %、mag. Fe 実収率最低 80.9 %、最高 99.4 % である。

## 第 5 章 ゴム磁石ベルト式磁選機の操業

本機の現場操業における適応性と、従来の他の磁選機の選鉱性との比較を試み、若干の経済的考察を行なった。

すなわち、久根鉱山産浮選尾鉱の粗選において、Crocket 型磁選機に比較して精鉱 T. Fe 品位が 5 % 高く、T. Fe 実収率が 3 % 高い結果が得られ、生産量を 3.8 倍に増加することができた。

野牛産段丘砂鉄の精選において、スライムの多い給鉱に対して Gröndal 型磁選機では品位が上がらず、本機によつて精鉱 T. Fe 品位 4 % を向上し、品位向上による収益を上げることができた。

また秩父鉱山産浮選尾鉱においては、Roche 型磁選機に比較して、精鉱 T. Fe 品位 8.5 %、T. Fe 実収率 21 % を向上し、品位の高い精鉱を 1.2 倍増産することができた。

## 第 6 章 結 論

第 1 章から第 6 章の研究結果をまとめ、著者の考察を加えて結論としたもので、従来の磁選機の選鉱機能上の不備の点を指摘し、これを本質的に改善するために必要な条件を満足させる万策の一つとしてゴム磁石ベルト式磁選機を創案、試作し、実験を重ねた結果、これらの基礎研究に基づいて設計、製作された磁選機の操業例を通じて著者の提示した条件が妥当なめんを実証した。

## 論文審査の要旨

フェライト粉末とゴム、イオウ、加硫促進剤、老化防止剤などを配合し、練合、成型および加硫処理し、永久磁石としたものをゴム磁石と云う。このゴム磁石は耐候性ならびに耐オゾン性があり、磁氣的経年変化あるいは外部磁界による減磁作用に対して安定であり、可撓性を有するため、このゴム磁石片をベルト中に埋込むことによつてゴム磁石ベルトを製造することが可能である。

著者はこの点に注目し、強磁性粒子に作用する磁力、流体中を沈降する粒子に作用する重力および抵抗、摩擦力等とゴム磁石ベルトの選鉱特性を考慮して、ゴム磁石ベルトおよびゴム磁石ベルト面上の水流等についてそれぞれ詳細に実験、考察し、ゴム磁石ベルト式磁選機的设计方針およびその選鉱条件を把握する基礎を確立した。

本論文はこれらの結果をとりまとめたもので、6章からなる。

第1章は緒論である。第2章はゴム磁石ベルトの製造と物性を説明したもので、ゴム磁石に含まれるBa-フェライト系粉末の結晶の異方性に基づく磁石の異方体化を利用することによつてフェライト粉末の量を減じ、所要の磁気特性を持ち、かつ可撓性ならびに耐久性の大きいゴム磁石ベルトの製造が可能であることを明らかにした。

第3章ではゴム磁石ベルト面上の磁界の強さ、パルスおよびベルトの移動方向等のゴム磁石ベルトの選鉱特性におよぼす影響を論じたもので、磁鉄鉱に対しては非磁性粒子の抱き込みを考慮して、ゴム磁石ベルト面の磁界強度を250～3000g程度にすべきことを明らかにした。また、ゴム磁石面に磁着した強磁性粒子を外部磁界の作用により倒立反転せしめ水圧噴射を併用し、抱き込まれた非磁性粒子を除去し、磁気捕収装置を装備し、安定した選鉱成績を維持することを可能にした。さらに、ゴム磁石に磁着した強磁性粒子を磁氣的に離脱回収するにはゴム磁石の磁界強度の2.5倍以上の離脱磁界を必要とすることを明らかにした。ベルト傾斜およびベルト速度の影響はベルト面上平均流速に一義的に依存し、流速と選鉱性との間には2つの急変現象があることを見出し、磁性的および非磁性的力の相互作用の調和をはかる必要があることを明らかにしていることは重要な知見である。

第4章はこれらの研究成果に基づいて設計された磁選機の選別性能を定量的に論じたものである。

第5章はゴム磁石ベルト式磁選機の現場操業における適応性と従来の他の磁選機の選鉱性能との比較により磁選機の具備すべき基本的条件を実証したものである。



第6章は結論である。

以上要するに本論文は、従来の磁選機の不備な点を本質的に改善するために創案されたゴム磁石ベルト式磁選機の性能を実験的に詳細に検討したもので、この独創的研究は資源工学その他関連する分野に貢献するところが少なくない。

よつて、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。